ESTUDO DA DINÂMICA DE DESENVOLVIMENTO DE UMA VOÇOROCA: ESTUDO DE CASO NO BIOMA DO CERRADO, UBERLÂNDIA - MG

Ricardo Reis ALVES[1]
Erica Aparecida Vaz ROCHA[2]
José Fernando Rodrigues BEZERRA[3]
Roberto Reis ALVES[4]
Silvio Carlos RODRIGUES[5]

RESUMO

A presente pesquisa tem por objetivo geral o entendimento da dinâmica de desenvolvimento de uma voçoroca. Assim, foi definida como área de pesquisa uma voçoroca localizada na Fazenda Experimental do Glória (UFU), Uberlândia – MG. Este processo erosivo possui 350m de extensão, profundidade no alto e médio curso de aproximadamente 8m, 50m de largura na cabeceira e apenas 50cm de largura na região da foz. A área de pesquisa está localizada sobre um contato geológico entre os Depósitos Fluviais da Formação Marília (textura arenosa) e as Rochas Basálticas da Formação Serra Geral (saprolito de textura argilosa). Outra característica desta voçoroca é a presença de água em seu canal principal durante todo o ano.

Para entender a dinâmica de desenvolvimento desta voçoroca foi definida uma série de metodologias de pesquisa, que envolve um estudo sobre a variação da quantidade de sedimento suspenso no canal principal da voçoroca, estudo dos sedimentos de fundo envolvendo quantificação e análise textural, acompanhamento da variação da vazão e análises comparativas de fotos aéreas.

O comportamento da variação da concentração de sedimentos suspensos é determinado por eventos como: chuva, queda de talude, “pinpings” e presença de animais. Estas ocorrências provocam um súbito aumento da concentração de sedimentos e quando ocorre um destes eventos, toda a dinâmica de sedimentos suspensos sofre alteração e a perda de sedimentos chega a alcançar 2,10g/l, sendo que a perda média normal é de 0,05g/l.

Assim como ocorre com os sedimentos suspensos são fatores como a chuva, queda de talude e a presença de animais que são os determinantes da variação da quantidade de sedimentos de fundo. A maior parte das amostras coletadas (65%), apresentaram valores inferiores a 100g/h e são referentes a amostras tanto da estação seca quanto da chuvosa. Porém, houveram casos extremos, como por exemplo, 1,5g/h que foi o mínimo registrado e ocorreu no mês de abril de 2005 após um longo período de estabilidade do canal, e como outro exemplo, foi o que ocorreu no mês de dezembro de 2004 em que foi feito o registro máximo de 16536g/h de sedimentos. Quanto a textura dos sedimentos de fundo, em 100% das amostras foram observadas maior concentração de areia média e grossa (partículas entre 2 e 0,125mm), considerando que ainda não foram feitas amostragens durante um evento chuvoso.

No estudo da variação da vazão do canal da voçoroca, pôde-se observar que as chuvas são extremamente influentes para determinar esta variação. Quando não há a presença de

[1] Universidade Federal de Uberlândia – Mestrando do Instituto de Geografia – rreisalves@aol.com.
[2] Universidade Federal de Uberlândia – Mestrando do Instituto de Geografia.
[3] Universidade Federal de Uberlândia – Mestrando do Instituto de Geografia.
[4] Universidade Federal de Uberlândia – Mestrando do Instituto de Geografia.
[5] Universidade Federal de Uberlândia – Prof. Dr. da UFU – silgel@ufu.gov

chuvas a vazão varia entre 1L/s na estação seca e 2,5L/s nos meses de maior abastecimento do lençol freático. Contudo, durante um evento chuvoso, estima-se que a vazão pode aumentar em aproximadamente 1500%, alcançando valores médios de 30L/s.

Por fim, o estudo de comparações de fotos aéreas esta auxiliando no entendimento do avanço da voçoroca. Ao fazer comparações entre fotos de maio de 2004 com a realidade atual do terreno (maio/2005), será facilmente percebido que houveram mudanças, podendo ser verificado um avanço médio de 2m lineares para a maior parte das ramificações. Uma das ramificações mais ativas neste processo teve um avanço linear de 15 metros, o que representa um avanço linear 750% maior do que a média local.

A dinâmica de desenvolvimento desta voçoroca de acordo com os parâmetros estudados é menos intensa nos dias secos do que durante os eventos chuvosos, sendo que em aproximadamente 48 horas após um intenso evento chuvoso a dinâmica normal é restabelecida. Observou-se que o funcionamento da voçoroca ocorre por pulsos durante as fortes chuvas, momento em que o canal deixa de transportar pequenas partículas e passa a transportar, por exemplo, seixos de quartzo de até 15cm. Durante estas chuvas é quando ocorre o maior recuo linear das ramificações, visto que todas as ramificações avançam principalmente devido a presença de descontinuidades do terreno, onde há a formação de quedas de água durante as chuvas.

INTRODUÇÃO

O processo de ocupação do Cerrado brasileiro ocorreu com maior intensidade a partir do ano de 1970, quando a população que era predominantemente rural passou a migrar para às cidades, fugindo principalmente da pressão exercida pela expansão da fronteira agrícola nacional. Tanto nas cidades quanto no campo, o processo de ocupação humana ocorreu de maneira errônea, tendo poucos planejamentos e ainda os poucos que existiam apresentavam muitas falhas.

Em conseqüência do mau/falta de planejamento a relação entre o Homem e o Meio Ambiente se tornou extremamente desigual, e o Homem passou a gerar diversos e intensos impactos negativos ao Meio Ambiente, como por exemplo, desmatamentos, queimadas, desequilíbrio da fauna e flora, condução de espécies à extinção, poluição atmosférica e dos cursos de água e também a ocorrência dos processos erosivos.

A ocorrência de processos erosivos é uma nova preocupação no cenário político-econômico-ambiental nacional, que passou a ter maior destaque no final do século XX com a realização de encontros nacionais e internacionais de especialistas que tratavam sobre o tema de erosão de solos.

Os processos erosivos no Cerrado ocorreram de forma mais intensa após a retirada da cobertura vegetal natural para construção de cidades ou para agricultura, deixando o solo descoberto e propenso à ação erosiva das chuvas. Para reforçar esta idéia, (GUERRA, 1999), afirma que os processos erosivos tendem a acelerar, à medida que mais terras são desmatadas para a exploração de madeira e/ou para a produção agrícola, uma vez que os solos ficam desprotegidos da cobertura vegetal e, consequentemente, as chuvas incidem diretamente sobre a superfície do terreno.

Quando há uma ocorrência de um processo erosivo, uma gama de problemas são gerados tanto para o Meio Ambiente quanto para o Homem. Os impactos ambientais negativos são principalmente a perda de solo in sito, o transporte de sedimentos pelos canais fluviais, o assoreamento de cursos de água, o aumento da turbidez que influencia diretamente no equilíbrio da fauna e flora aquáticas. A erosão também causa impactos socioeconômicos, como por exemplo, a diminuição da fertilidade do solo, o assoreamento de reservatórios de hidroelétricas (diminuindo o tempo de utilização econômica de geração de energia), assoreamento dos rios atrapalhando a navegação, perdas materiais e até mesmo de vidas.

Por ter tamanha influencia sobre o meio ambiente e sobre a humanidade, torna-se necessário buscar um melhor entendimento sobre processos erosivos, executando pesquisas no campo, simulações e análises laboratoriais. Tendo informações mais detalhadas sobre a ocorrência dos processos erosivos, melhores serão as chances para trabalhar com metodologias de controle e também de mitigação de erosão.

Para colaborar com a continuidade dos trabalhos regionais sobre erosão de solos, houve a idealização desta pesquisa que trabalha com um ponto de vista diferente sobre a ocorrência de voçorocas, focalizando o processo dinâmico de desenvolvimento no interior do canal. Para tal, foi definida como área de estudo uma voçoroca úmida (com lençol freático aflorado durante todo o ano) localizada nas dependências da Fazenda Experimental do Glória (fazenda da UFU) em Uberlândia, MG (figura 1). Esta voçoroca tem 350 metros de extensão e apresenta largura variável de acordo com a textura do solo, sendo que no alto curso onde predomina solos com textura arenosa, o comprimento chega atingir 50 metros, e contrastando com isto, no baixo curso que tem concentração de solos argilosos e saprólito a largura mínima chega ser de apenas 50 centímetros (figura 2).

Figura 1 – Mapa de localização da área de pesquisa. O mapa não possui escalas. (organização ALVES & ALVES,2002).

A área de pesquisa está localizada na borda da Bacia Sedimentar do Paraná. Neste local, a litologia predominante são as rochas basálticas da Formação Serra Geral e os depósitos sedimentares aluvionais da Formação Marília. No alto curso da voçoroca é possível encontrar os depósitos sedimentares, e já na região de médio curso, observa-se o contato existente entre a formação sedimentar e o basalto já saprolizado. No baixo curso há uma predominância de saprólito basáltico e rochas basálticas.

A região estudada teve a cobertura vegetal muito devastada. Hoje, existe apenas alguns resquícios próximo à um córrego do qual a voçoroca é afluente e o restante da área deu lugar a pastagens ou se tornou área de retirada de material para construções de aterros.

No que diz respeito ao clima da área estudada, sabe-se que o tipo de clima predominante na região de Uberlândia segundo a classificação de Köpper é o CWA, que apresenta duas

estações bem definidas, sendo uma quente e úmida que ocorre de outubro a março e outra fria e seca que vai de abril a setembro. O trimestre de novembro a janeiro é o mais chuvoso e por isso são considerados os meses mais erosivos, pois sem a cobertura vegetal, as gotas da chuva passam a incidir diretamente sobre o solo, provocando a selagem, rápida formação de poças, escoamento superficial e, por fim, a abertura de sulcos, ravinas e voçorocas. Nos meses de seca a dinâmica de desenvolvimento desta voçoroca diminui mais não se torna estática, pois ainda há ocorrência principalmente de queda de blocos ocasionada por fissuras.

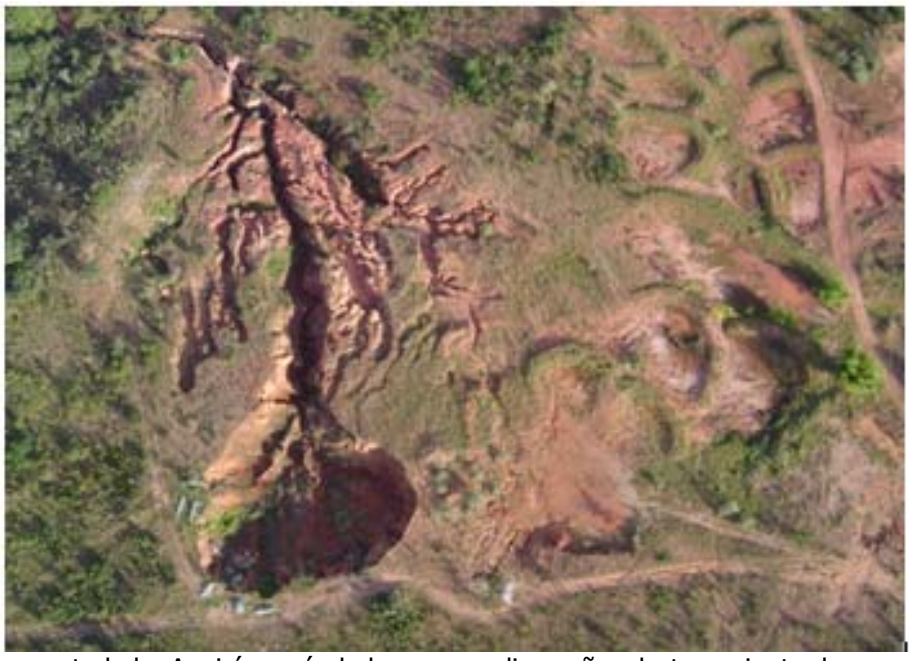

Figura. 2 – Voçoroca estudada. Aqui é possível observar as dimensões deste conjunto de processos erosivos, destacando a diferenciação de largura no decorrer do canal. Escala: 1:200. O canal central e mais largo é o principal, apresentando água do lençol freático aflorado, enquanto que os outros canais que possuem menores dimensões não têm lençol aflorado (ALVES, Maio de 2004).

Sabe-se que uma voçoroca apresenta um constante desenvolvimento em que há o desprendimento de solo, o transporte de sedimentos e a sedimentação ou a perda total do sedimento transportado para outro sistema fluvial. O que não se sabe ao certo é como ocorre o processo erosivo no interior de uma voçoroca, o que faz surgir as seguintes perguntas: A erosão é constante na região da voçoroca ou há pulsos de desenvolvimento? Que tipo de material é transportado? Como é a perda de sedimentos em um determinado momento? Há uma grande variação da vazão no canal principal durante o ano? Qual a quantidade de sedimentos esta voçoroca pode perder durante um dia de seca e um de chuva? Qual é o valor do avanço linear dos canais (ravinas e voçorocas)? A partir destas indagações, a corrente pesquisa foi idealizada tendo como objetivo geral o estudo da dinâmica do desenvolvimento da voçoroca localizada na Fazenda do Glória.

Para auxiliar na busca do objetivo geral desta pesquisa, foram determinados cinco objetivos específicos, que são: verificar a variação da quantidade de sedimentos suspensos, verificar a variação da quantidade de sedimentos de fundo, a variação da textura dos sedimentos de fundo, a variação da vazão e a taxa de avanço linear dos canais.

MÉTODOS e TÉCNICAS

Uma série de métodos e técnicas estão sendo usados nesta pesquisa para que os objetivos dela sejam alcançados. As técnicas adotas envolvem trabalhos de campo para coleta de amostras, trabalho em laboratório para análise das amostras coletadas e trabalho de gabinete para análise e interpretação de dados.

Os trabalhos de campo para coleta de amostras no canal principal da voçoroca são realizados semanalmente, porém, em casos especiais, como por exemplo, eventos chuvosos, o cronograma semanal pode ser alterado, havendo a necessidade de fazer diversos trabalhos de campo. Estas coletas de amostras vêm sendo realizadas desde o segundo semestre de 2004. Já os trabalhos de campo relacionados com a taxa de avanço linear dos canais devem ser realizados anualmente, quando é realizado um ensaio de fotos aéreas da área estudada. A primeira seção fotográfica foi feita em maio de 2004.

Para fazer a coleta de amostras no canal da voçoroca, ou seja, coleta de informações sobre quantidade de sedimento suspenso e de fundo, variação da textura dos sedimentos de fundo e variação da vazão, foi construído um vertedouro na região da foz da voçoroca (figura 3). Para construir este vertedouro foi usado armação de metal, concreto e tubos de PVC para as comportas. Inicialmente este vertedouro possuía cinco comportas (duas superiores e três inferiores) que permitiam a passagem do fluxo de água de acordo com a variação da vazão. Más logo após o início do período chuvoso de 2004/05 ficou comprovado que as comportas eram insuficientes, havendo o barramento de um grande pacote de sedimentos à montante do vertedouro e, além disso, três comportas foram soterradas e perderam as funções de controle de fluxo. Com o soterramento destas três comportas, foi necessário construir uma comporta auxiliar, a qual permite a passagem do fluxo de água durante as fortes chuvas e impede o soterramento das demais comportas.

Figura 3 – Vertedouro para coleta de amostras de sedimento de fundo e suspenso e também para executar medições de vazão (ALVES, Junho de 2004).

Após cansativos testes, ficou determinado que a melhor forma de coletar amostras neste vertedouro é através das duas comportas superiores que hoje estão niveladas com a lâmina de água do canal. Para fazer as coletas de sedimentos de fundo, um recipiente plástico é colocado na saída das comportas por um período de cinco minutos, retendo e permitindo a decantação de todo sedimento de fundo que está sendo transportado. Os dados sobre vazão são coletados com o auxílio de um recipiente que também deve ser instalado na saída das comportas. Sabendo a capacidade em litros deste recipiente é marcando o tempo necessário para o enchimento, chegando facilmente ao resultado de vazão que é medido em L/s. Os sedimentos suspensos são coletados à montante do vertedouro fazendo o uso de uma bomba vácuo manual (furo de entrada de 2 mm), e um total de dois litros de água são retidos como amostra.

O trabalho relacionado com o estudo do avanço linear dos canais (voçorocas e ravinas) existentes na área de pesquisa é desenvolvido a partir de comparação de fotos aéreas da

região. Para isso, anualmente e sempre após a ocorrência de um período chuvoso, as fotos são tiradas, fazendo o uso de uma aeronave chamada “Trike” e de uma câmera digital Sony de alta resolução.

Somente as amostras de sedimento de fundo e sedimento suspenso necessitam de análises laboratoriais, as quais são realizadas semanalmente. Na análise dos sedimentos suspensos o foco é a análise quantitativa, visando sempre determinar a quantidade de sedimentos que a voçoroca estava perdendo em um certo momento. Os materiais e equipamentos utilizados neste trabalho são: peneira de malha 0,053, filtro de papel, proveta, funil e balança de precisão (décimo de milésimo de uma grama) (figura 4). Os dois litros de água coletados na voçoroca são colocados na peneira para que as partículas maiores que o silte fiquem retidas. O que justifica o uso da peneira é o fato da espessura média da lâmina de água ser de apenas dois centímetros em dias sem a ocorrência de chuvas, o que juntamente com a ação das correntezas pode fornecer falsos resultados, como por exemplo, a presença de areia grossa em suspensão, o que é inadmissível levando-se em conta a capacidade de transporte deste canal em dias sem chuva. Após o peneiramento, a água é colocada em um filtro de papel que tenha o seu peso seco registrado e, com o fim da filtragem, o filtro é reservado para secagem natural ao ar durante 24 horas. Ao subtrair o peso inicial do papel de seu peso final, é obtida a quantidade de sedimentos transportados em dois litros de água e, aplicando cálculos matemáticos simples, chega-se facilmente à quantidade de sedimento supenso existente na região da foz da voçoroca, cujo valor é dado em gramas de sedimentos por litro de água (g/l).

Figura 4 – Esta imagem é representativa do material utilizado em laboratório para fazer as análises das amostras de sedimento suspenso. Neste caso, o sedimento já passou pelo processo de filtragem, ficando retido no filtro de papel. Os materiais nesta figura são: galão, peneira de 0,053 mm, funil, proveta e filtro de papel. (ALVES, Junho de 2005).

A análise de sedimento de fundo tem o objetivo de quantificar e também classificar por textura os sedimentos. Os materiais usados para fazer esta análise são: jogo de peneiras (malhas de 3,35 – 2 – 0,210 – 0,125 e 0,053mm), agitador de peneiras e balança de precisão que registra um centésimo de uma grama (figura 5). A amostra coletada no campo é colocada no agitador de peneiras por um período de quatro minutos e a uma freqüência constante de agitação (a freqüência é sempre mantida em todas as amostras). Ao final do peneiramento, a amostra é classificada em seis partes distintas, sendo seixos maiores que 3,35mm, seixos com dimensões entre 3,35 e 2mm, areia grossa, areia média, areia fina e silte/argila. Cada uma destas partes são pesadas, obtendo então as quantidades do total de sedimentos transportados e também a quantidade de uma determinada textura que tenha sido transportada durante cinco minutos pela lâmina de água do canal. Ao aplicar simples

cálculos matemáticos é possível chegar facilmente à valores quantitativos dados em gramas por hora (g/h).

Para fazer a interpretação dos dados obtidos através das análises laboratoriais das amostras e de outras informações coletadas no campo, são usados "como carro chefe" Softwares como o Microsoft Excel e o AutoCad 14. O Excel é uma excelente ferramenta para executar trabalhos como este que envolve geoestatística, facilitando a formação de banco de dados, construção de tabelas e gráficos. O AutoCad é utilizado na execução de mapas da área de pesquisa e também como auxílio no trabalho de foto-comparação.

Figura 5 – Esta foto representa os materiais usados para fazer análise laboratorial das amostras de sedimento de fundo, separando-os em seis granulometrias diferentes. Os materiais observados nesta figura são: jogo de peneiras, agitador de peneiras e recipiente plástico.

RESULTADOS

Após um ano de início desta pesquisa, já é possível definir alguns resultados parciais que auxiliam a explicar como ocorre o desenvolvimento da voçoroca estudada. Existem resultados concretos sobre o comportamento da dinâmica de transporte de sedimentos, da variação da vazão e a taxa de avanço dos maiores canais conectados ao canal principal da voçoroca.

CHUVAS NA ÁREA DE PESQUISA

Para estudar a dinâmica dos processos erosivos é essencial entender o comportamento das chuvas na área de estudo e a sua relação com a ocorrência dos processos erosivos. O município de Uberlândia tem o clima CWA (Köpper), sendo caracterizado pela presença de uma estação fria e seca ocorrente entre os meses de abril e setembro e outra estação que é quente e úmida e se dá entre os meses de outubro e março. Mais de 95% das chuvas ocorre na estação quente e úmida (Estação Climatológica do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia), e por isso estes seis meses do ano são conhecidos como os meses mais erosivos, pois a taxa de destacamento e transporte de sedimentos aumenta consideravelmente.

Segundo Baccaro (in GUERRA, 1999) um ano pode ser mais erosivo do que outro na região do Cerrado, o que depende basicamente das características do início do período chuvoso. Se em um determinado ano ocorrer chuvas fracas antes mesmo do final da estação seca ou bem no começo da estação chuvosa, a vegetação típica do cerrado rebrotará (grande parte

das espécies do Cerrado perdem as folhas no período da seca), e protegerá o solo contra o impacto direto das gotas das intensas chuvas, diminuindo a taxa de erosão no início do período chuvoso. Mais se a estação das chuvas começar já com fortes pancadas, não haverá tempo suficiente para o re-brotamento da vegetação no início do período, o que aumentará a intensidade do processo erosivo na região. O período chuvoso 2004/05 (figura 6), momento em que as amostras já estavam sendo coletadas no campo, foi caracterizado por ser extremamente erosivo, pois a primeira chuva ocorreu só no final do mês de outubro, tendo intensidade de 32mm/h. A segunda chuva foi de 72mm/h, e as outras subseqüentes também foram intensas e ocorriam de forma espaçada, impossibilitando um rápido crescimento da cobertura vegetal.

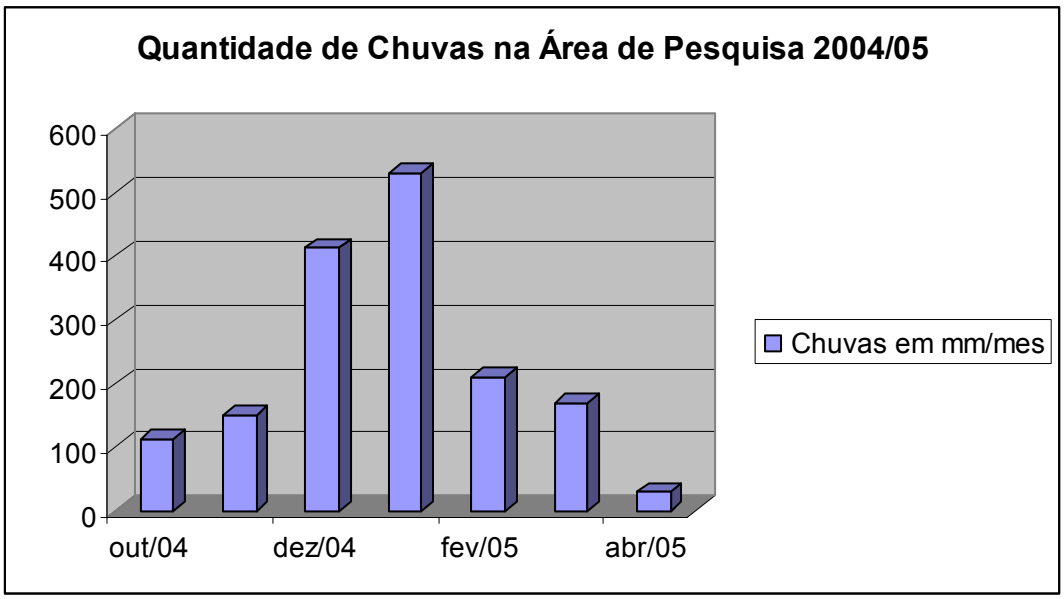

Figura 6 – Os dados deste gráfico foram coletados a partir de pluviômetros instalados na área de pesquisa. Juntos, os meses de Dezembro/04 e Janeiro/05 somaram mais de 60% do acumulo total de chuvas, o que consequentemente indica que estes meses tiveram a maior taxa erosiva do período (ALVES, Junho de 2005).

O COMPORTAMENTO DA VAZÃO

Ao longo de todo o ano existe água fluindo no canal principal da voçoroca, variando de acordo com a presença ou não de chuva (figura 7). A fonte principal desta água é a cabeceira da voçoroca, onde existem resurgências da água acumulada no lençol freático, formando frentes erosivas que se desenvolvem pela ação de “pipings”. Ao desconsiderar os dias chuvosos, a variação da vazão registrada ficou entre 1 e 2,5 litros por segundo (l/s), o que representa uma discrepância de 250%.

A diferença de 250% registrada entre as vazões em momentos sem ocorrência de chuvas, é ocasionada porque na estação úmida o lençol freático é abastecido pela água da chuva que se infiltra no solo. Sob estas condições, a maior vazão registrada ocorreu no mês de Janeiro de 2005, após dois meses de intensas chuvas em que foram registrados quase 1000mm de chuva. Ao contrário disto, durante a seca o lençol freático deixa de ser abastecido pela infiltração da água da chuva, e apenas o excedente acumulado durante as chuvas continua a fluir, atingindo níveis mínimos em meados de setembro e início de outubro.

Quando ocorrem as chuvas a vazão no canal principal da voçoroca aumenta e de acordo com as amostras coletadas, foi registrada uma vazão de 7,1 l/s, o que representa uma variação de 710% entre este valor e o menor valor de vazão registrado na época da seca. Acredita-se que a vazão no canal pode atingir níveis maiores, pois durante as chuvas mais concentradas ainda não foram feitas amostragens do valor da vazão. Assim, há estimativas de que a vazão pode alcançar 30 l/s, o que representa uma variação total de 3.000%. Este aumento exagerado da vazão durante as chuvas é ocasionado pela baixa taxa de infiltração

que o solo possui, o que acaba gerando uma elevada taxa de escoamento superficial, formando um fluxo que é direcionado para o interior do canal.

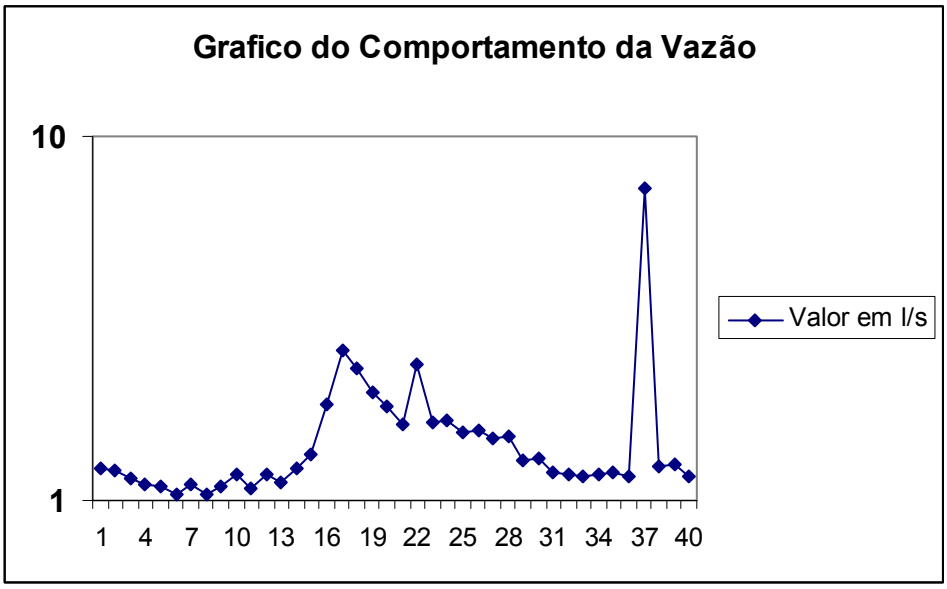

Figura 7 – Este gráfico representa a variação da vazão no canal principal da voçoroca ao longo da coleta de dados iniciada em jul/04 até jul/05. Os primeiros valores no gráfico são respectivos ao período de seca de 2004 e, posteriormente, os valores são representativos do perído das chuvas. Os últimos valores já são respectivos do período da seca de 2005. O maior valor de vazão foi registrado durante uma chuva atípica ocorrida em jun/05, quando o valor registrado foi de 7,1 l/s (ALVES, Jul de 2005)

TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

O transporte de sedimento em um canal fluvial ocorre das seguintes formas: dissolvido, em suspensão e no fundo do canal (CHRISTOFOLETTI, 1988). Para este trabalho os sedimentos dissolvidos, que são principalmente sais minerais, não foram levados em consideração, e a pesquisa está sendo desenvolvida considerando somente os sedimentos transportados em suspensão e pelo fundo do canal.

Os sedimentos suspensos transportados pela água do canal principal da voçoroca possuem uma textura muito fina, tendo a presença de partículas com dimensões menores que 0,053mm, representado por silte, argila e colóides. As duas principais características deste tipo de sedimento é a alta velocidade de transporte e a baixa concentração de partículas. Esta taxa de concentração de partículas pode sofrer uma elevada concentração quando ocorrer algum tipo de intervenção no canal da voçoroca, como por exemplo, movimentos de massa, chuvas, presença de animais ou intervenções humanas. Sob estas condições de intervenções, partículas maiores passam a ser transportadas, sendo que durante as chuvas já foi possível registrar a presença de areia grossa (partículas com dimensões entre 2 e 0,210mm).

O transporte de sedimentos suspensos sofre uma grande variação ao longo do ano e até mesmo ao longo de um dia, devido ao fato das diversas intervenções que o canal da voçoroca pode sofrer (figura 8). Para ilustrar esta variação, recentemente (18/06/05) foi feita uma amostragem alguns minutos antes da ocorrência de uma chuva e também durante a chuva. Antes da chuva foram registradas 0,02 gramas de sedimento por litro de água (g/l) e durante a precipitação foram registradas 20,70g/l, com a presença até mesmo de areia grossa. O poder de variação da dinâmica de transporte de sedimentos é tão forte que neste dia em apenas uma hora houve uma diferença de mais de 100.000%.

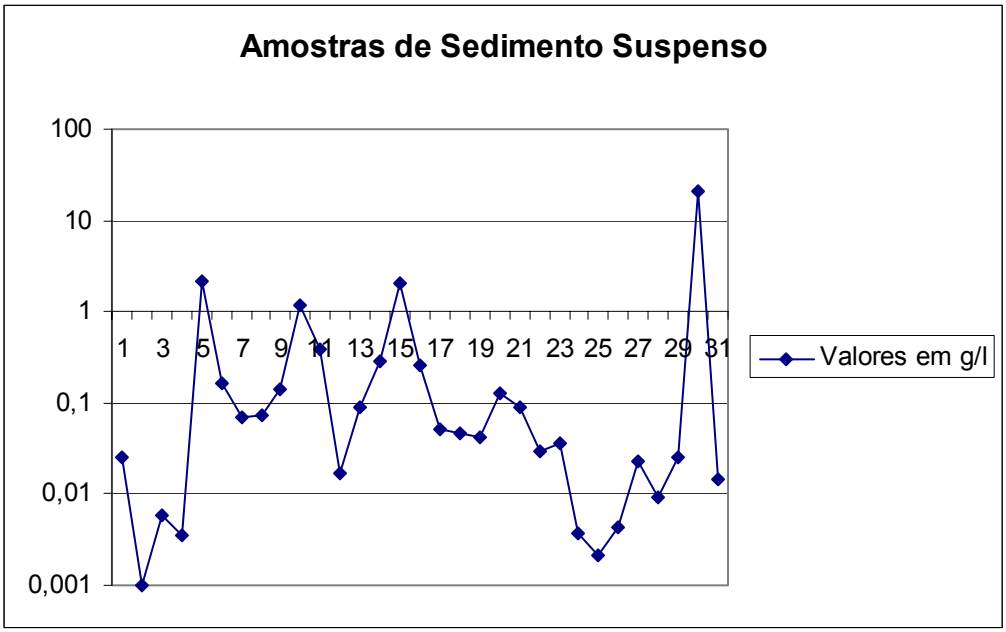

Figura 8 – Este gráfico representa os valores das amostras de sedimento suspenso coletadas ao longo da pesquisa. Nota-se que a maior parte dos valores estão bem próximo de zero, o que representa que o canal não estava sofrendo nenhum tipo de intervenção drástica e a perda de sedimentos ocorria dentro dos valores médios, sendo que a maior parte das amostras coletadas variam de 0,001 à 0,1 g/l. Porém, algumas amostras forneceram dados acima dos valores médios, o que indica que estas amostras foram coletadas durante a ocorrência de alguma intervenção no canal da voçoroca (ALVES, julho de 2005).

A taxa média de transporte de sedimentos suspensos no canal desta voçoroca sem que haja intervenções em seu curso, era de 0,05g/l nos momentos em que foram feitas as coletas das amostras. Desconsiderando a variação causada pelas chuvas, é possível afirmar que a vazão média do canal é de 1,5l/s. Tendo os valores de 0,05 gramas de sedimento por litro de água e a vazão de 1,5 litros de água por segundo, um simples cálculo matemático pode ser aplicado para determinar a quantidade de sedimentos transportados durante o período de uma hora. O cálculo segue descrito abaixo:

Y = 1,5 X 3600 X 0,05, sendo que Y é a quantidade de sedimentos transportados em uma hora, 1,5 a vazão, 3600 a somatória dos segundos existentes em uma hora e 0,05 é a taxa média de sedimento suspenso. Ao executar esta simples operação matemática será encontrado o valor de 270 gramas de sedimentos transportados em uma hora. Na amostragem feita no dia 18 de junho/2005 durante uma chuva, a taxa média de transporte de sedimento suspenso foi de 20,70g/l a uma vazão de 7,1L/s. Ao aplicar o mesmo cálculo matemático do exemplo anterior, o seguinte valor será encontrado: Y = 7,1 X 3600 X 20,70; executando a multiplicação será encontrado o valor de 529kg/h.

O outro tipo de sedimento que o canal estudado transporta é o sedimento de fundo. As duas principais características deste sedimento é a grande textura que eles possuem que varia desde areia fina até matacões e o transporte lento realizado de forma intermitente através de saltos ou rolagem.

A variação da concentração deste tipo de sedimento e da textura do sedimento transportado também depende diretamente da ocorrência ou não de interferências no canal da voçoroca, como por exemplo, presença de chuvas, animais e movimento de massa. Sem estas interferências, a maior parte das amostras coletadas não apresentou valores superiores a 500 gramas de sedimento por hora, sendo que em algumas situações alguns valores extremamente mínimos foram alcançados, como por exemplo, 1,5 g/h que foi registrado em abril de 2005. Ao fazer uma análise de todas as amostras coletadas é possível observar claramente a exagerada diferença entre seus valores, que atinge variação máxima entre os extremos de valor superior a 38.000.000%, variando de 1,5 g/h no período da seca até

591.175,5 g/h durante as chuvas (figura 9). Ao considerar que o maior registro de perda de sedimento de fundo ocorreu quando a vazão da voçoroca atingiu 7,1 l/s, surgem fortes indícios de que essa diferença possa ser bem maior, pois ainda não foram feitas medições durante as chuvas mais intensas, momento em que a vazão pode atingir patamares próximos a 30 l/s (valor estimado).

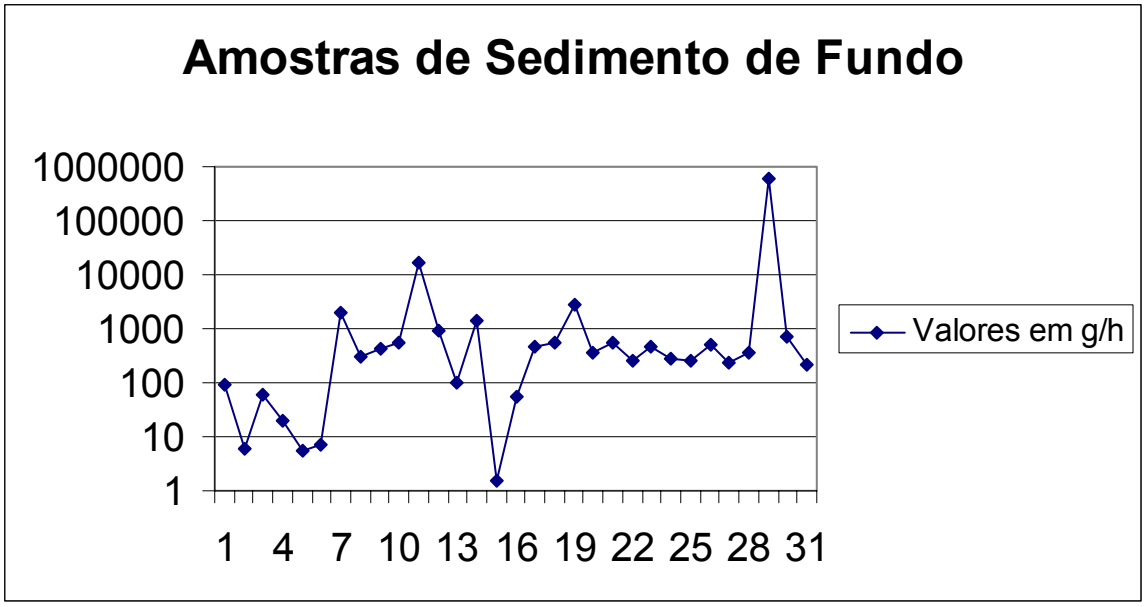

Figura 9 – Este gráfico de sedimento de fundo ilustra a discrepância existente entre os menores e maiores valores de sedimento transportado. A maior parte destas amostragens foram realizadas sem a presença de nenhum tipo de interferência drástica no canal da voçoroca, o que justifica que a grande maioria apresenta valores entre 100 e 1000 g/h (ALVES, Julho de 2005).

No transporte dos sedimentos de fundo nota-se a presença de materiais que apresentam diferentes texturas (figura 10), o que varia de acordo com a presença ou não de interferências no canal da voçoroca. Em um dia sem interferências, as texturas que são normalmente transportadas são: seixos com dimensões entre 3,35 e 2mm, areia grossa, areia média, areia fina e silte/argila, sendo que a textura de maior concentração nestes dias é a areia quartzoza grossa. Com as interferências, principalmente durante as fortes chuvas, além destas texturas citadas são transportados materiais como seixos maiores 3,35 e até matacões de basalto intensamento saprolizado que chegam a atingir 40cm de largura. Nestes dias há um maior transporte de seixos maiores que 3,35, sendo representados principalmente por seixos rolados de quartzo que compõe a Formação Marília.

Ao analisar a dinâmica de transporte de sedimento nesta voçoroca percebe-se que o transporte permanece ocorrendo a todo instante, seja ele de fundo ou suspenso e por menor que seja a taxa de transporte. Mesmo no período da seca o transporte ainda continua ocorrendo, momento em que o destacamento de sedimentos ocorre basicamente pela ação da água no canal, interferências de animais e principalmente por movimentos de massa (queda de blocos por rachaduras é o mais comum). Por dedução, acreditava-se que a maior taxa de transporte de sedimentos ocorria durante a ação das chuvas, e as análises feitas nesta pesquisa vieram confirmar numericamente esta ocorrência. O que não se deduzia era a capacidade de transporte do canal que durante uma chuva atingiu a taxa de transporte equivalente a 1,12tons/h de sedimentos (591Kg de sedimento de fundo somado à 529Kg de sedimento suspenso). Também não se deduzia a alta variação ocorrente na taxa de transporte, que variou exageradamente ao longo do período de amostragens ou mesmo em um único dia.

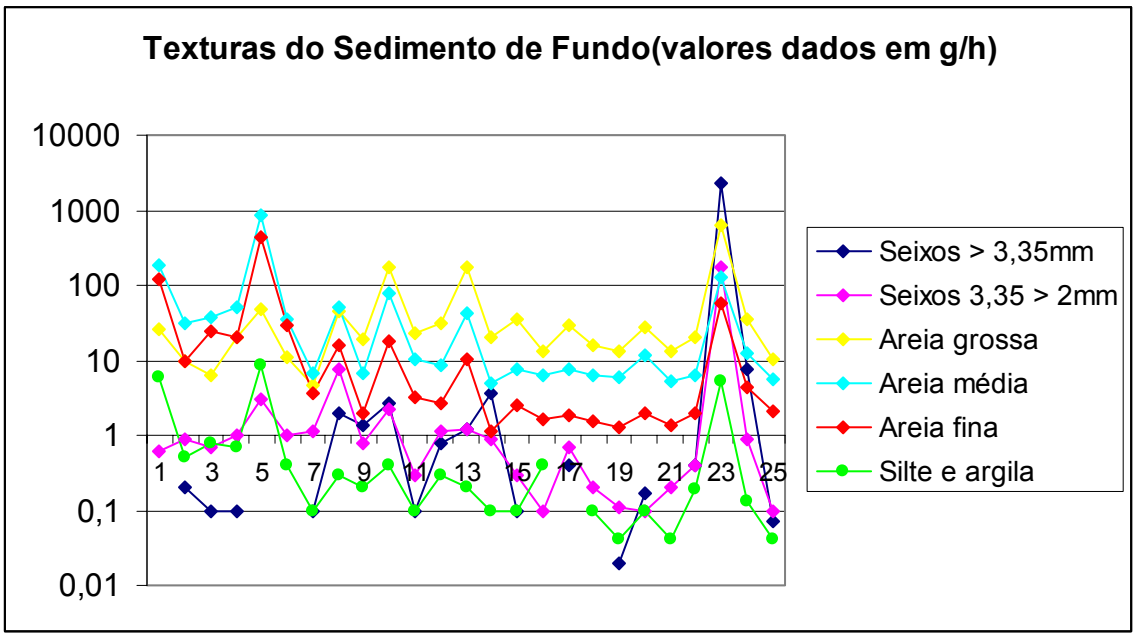

Figura 10 – Este gráfico representa a variação das texturas nas amostras coletadas. Observa-se que nas primeiras análises (período chuvoso) havia uma maior concentração de areia média. Quando as chuvas diminuíram a concentração de areia média também diminuiu e a areia grossa passou a ser transportada em maior quantidade, fato justificado pela mudança da principal area fonte de sedimentos, que no período da chuva é a Formação Marília e na seca passa ser a área de basaltos saprolizados da Formação Serra Geral e também a própria base do canal. Obs.: ao analizar o gráfico serão notadas descontinuidades em algumas linhas e pontos, o que indica que os valores de uma determinada amostra é igual a zero (ALVES, Julho de 2005).

AVANÇO LINEAR DOS CANAIS NA ÁREA ESTUDADA

As fotos aéreas retiradas da voçoroca em maio de 2004 foi o primeiro registro aerofotogamétrico da área estudada. A partir deste registro foram determinados alguns canais que teriam o seu avanço estudado. Assim, fazendo o uso das fotos aéreas e de informações coletadas no campo após o último período chuvoso (2004/05), foi possível analisar o quanto cada canal avançou após a ação deste período chuvoso (figura 11). Em média, houve um avanço de 2 metros lineares nos canais.

A região estudada não possui uma grande área de contribuição, pois existem curvas de nível e outros fatores que afastam o escoamento superficial proveniente do topo da vertente. A maior parte dos canais estudados não possui área de contribuição maior que 100m². O que explica este grande avanço é o fato de que a área possui uma baixa taxa de infiltração, resultando na formação de intensos escoamentos superficiais. Associado aos escoamentos superficiais existe a formação de quedas de água por descontinuidade do terreno no início de todos os canais estudados, o que funciona como um catalisador para o processo erosivo e, como isso, o solo passa a sofrer um maior destacamento e transporte.

Um dos canais estudados teve um avanço mais acentuado, tendo um avanço linear registrado de 15 metros em apenas um período chuvoso. Este valor representa uma diferença de 750% em relação à média de avanço linear local, e ocorreu devido a algumas características particulares que este canal possui. A principal característica que teve grande influencia é o fato de que o horizonte subsuperficial predominantemente argiloso dista apenas 30cm do horizonte superficial arenoso. Este fato faz com que o processo erosivo subsuperficial seja acelerado e em pouco tempo toda a cobertura arenosa é retirada. Em conseqüência disso, passa a existir descontinuidades de alturas no terreno e são formadas quedas de água que entram em atividade durante as chuvas, acelerando o processo erosivo. Outra característica da região deste canal é a grande área de contribuição que ele possui em relação aos outros canais, chegando a ter 2500m². Esta área de contribuição é

capaz de fornecer um escoamento superficial mais intenso, o que também acelera o processo erosivo.

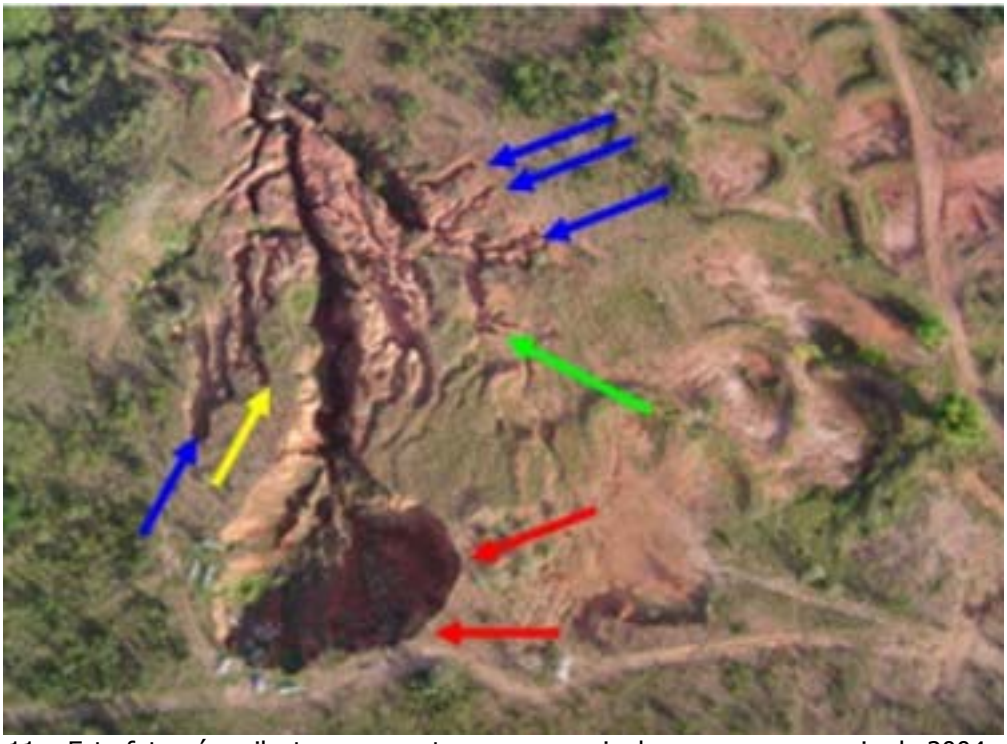

Figura 11 – Esta foto aérea ilustra como estavam os canais da voçoroca em maio de 2004. Após o período chuvoso de 2004/05, os canais que estão indicados com a seta azul tiveram um avanço linear de 2m, a seta amarela indica um canal que teve apenas 0,40m de avanço. As setas vermelhas indicam o avanço linear remontante do canal principal, que foi de 2,40m. Por fim, a seta verde indica o canal que sofreu o maior avanço linear, tendo 15m de avanço. Em relação a largura, observa-se maiores dimensões na região arenosa do auto curso, enquanto que no baixo curso argiloso, o canal se torna mais encaixado, apresentando uma largura 10.000% menor que a região de auto curso. Escala: 1:200 (ALVES, Maio de 2005).

O avanço remontante do canal principal ocorre principalmente pela ação de “pipings” na área de exudação do lençol freático. A erosão do tipo “piping” retira a sustentação das paredes da voçoroca que na região possui mais de 6 metros de altura. Consequentemente, a força peso exercida para baixo pelas paredes, faz com que grandes blocos sejam destacados, o que ocorre com maior intensidade no final do período chuvoso e no período da seca.

Em relação ao avanço da largura dos canais, aqueles localizados em região mais arenosa têm a largura aumentada principalmente durante a estação chuvosa, pois o material é muito friável e se torna vulnerável até mesmo à ação direta das gotas de chuva. Contudo, este avanço não deixa de ocorrer durante a seca, pois há o desprendimento de material com o aparecimento de rachaduras, que são ocasionadas pela baixa umidade do ar. Os canais localizados na formação argilosa têm o maior avanço registrado no período da seca, o que ocorre devido a presença de argila expansiva no solo, que contribui para a formação de uma grande quantidade de rachaduras, ocasionando a queda de grandes blocos. Este solo argiloso não sofre uma grande ação lateral da água existente do canal e nem mesmo da água da chuva, más em contrapartida, sofre um intenso aprofundamento.

CONCLUSÃO

Os resultados desta pesquisa obtidos a partir da análise das informações coletadas no campo servem para comprovar o quanto uma voçoroca pode ser prejudicial ao meio ambiente, à economia e socialmente. Toneladas de solo podem ser perdidas em apenas

uma hora de chuva, diminuindo a quantidade de solo disponível para atividades agrícolas, assoreando rios e reservatórios de usinas hidroelétricas.

O tipo de voçoroca estudada, que é uma voçoroca úmida, apresentando lençol freático aflorado, é caracterizada por ter transporte (perda) de sedimentos o ano inteiro e, mesmo durante a estação da seca, a perda de solo continua, agravando ainda mais os problemas gerados por este tipo de processo erosivo.

A dinâmica de desenvolvimento desta voçoroca já pode ser previamente explicada através dos resultados parciais obtidos. Este desenvolvimento ocorre quando há algum tipo de intervenção em seu canal, seja por ação das chuvas, presença de animais, movimentos de massa ou novas resurgências de água. Sem estas intervenções, observa-se que há uma linha de tendência de perda total de sedimentos no período da seca e outra na estação das chuvas, fato explicado pela variação da vazão do lençol freático entre a seca e as chuvas. Enfim, pode-se afirmar que o desenvolvimento, ou a perda de sedimentos ocorre de forma bem heterogênia e apresenta variações consideráveis durante um único dia, tendo uma linha de tendência referente aos períodos que o canal não sofre intervenções, e pulsos de desenvolvimento durante as intervenções, quando ocorrem as maiores perdas de sedimentos.

As informações contidas nos resultados desta pesquisa são referentes a apenas uma voçoroca que existe à margem direita do Rio Uberabinha, que corta a cidade de Uberlândia e é uma das fontes de água para a população de mais de 500 mil habitantes. A Bacia Hidrográfica do Uberabinha possui mais de 100Km de extensão e outros tantos processos como este, ou mesmo mais ativos, podem estar em funcionamento, despejando diariamente toneladas de sedimentos no curso do rio e provocando o seu rápido assoreamento. Assim, os resultados desta pesquisa são de extrema importância para desenvolver trabalhos de manejo de bacias hidrográficas, despertando a necessidade de se dar uma atenção maior para prevenção ou recuperação de áreas degradadas por erosão. Ao dar a devida atenção para o controle dos processo erosivos, os planos de manejo das bacias hidrográficas terão maiores sucessos em sua execução.

REFERÊNCIAS

ALVES, Roberto Reis; ALVES, Ricardo Reis; RODRIGUES, Silvio Carlos. **Impactos ambientais de processos erosivos em micro-bacia hidrográfica no município de Uberlândia.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA. 2002, São Luis. Anais: São Luis, UFMA. 2002.

ALVES, Ricardo Reis; ALVES, Roberto Reis; RODRIGUES, Silvio Carlos. **Processos erosivos ao longo da Bacia Hidrográfica do Córrego Lagoinha.** In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOGRAFIA, 1., 2002, Uberlândia. Anais Simpósio Regional de Geografia. Uberlândia: UFU, 2002. p. 31. CD ROM.

BLOOM, Arthur L. Tradução feita por: PETRI, Setembrino. **Superfície da Terra.** V 1. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.

BRANDÃO, Viviane S.; PRUSKI, Fernando F.; SILVA, Demetrius D. Infiltração da Água no Solo. 2 ed. Viçosa: UFV, 2003.

CARVALHO, Newton de Oliveira et al. **Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios.** 1. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia Fluvial.** V 1. São Paulo: Edgard Blücher, 1988.

GERARDI, Lúcia H. O.; SILVA, Bárbara C. N. Quantificação em Geografia. 1 ed. São Paulo: Difel, 1981.

GUERRA, A. J. T et al. (organização). **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações.** 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

LEPSCH, Igo F. Formação e Conservação dos Solos. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MARSAL, Dieter. Tradução feita por: MERRIAM, Daniel F. Statistics for Geoscientists. 2 ed. Kansas, USA: 1987.

NISHIYAMA, Luiz. **Geologia do Município de Uberlândia e Áreas Adjacentes.** Sociedade & Natureza, Uberlândia, 1 (1): 9-16, junho 1989.

SILVA, A. Maria. **Guia para normalização de trabalhos técnico-científicos:** projetos de pesquisa, monografias, dissertações e teses / Ângela Maria Silva, Maria Salete de Freitas Pinheiro, Nara Eugênia de Freitas. Uberlândia: UFU, 2000. 163p.

SILVA, Alexandre M.; SCHULS, Harry E.; CAMARGO, Plínio B. Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas. 2 ed. São Carlos: RiMa, 2004.

SUGUIO, Kenitiro. Introdução à Sedimentologia. 1 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

VILLELA, Swami Marcondes et al. **Hidrologia Aplicada.** V 1. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977.